

Si-SiO₂ 기반 2차원 광자결정 도파로의 응용

여종빈, 김준형, 임우식, 이은선, 이현용
전남대학교

Application of Si-SiO₂ Based Two-Dimension Photonic Crystal Waveguides

Jong-Bin Yeo, Jun-Hyung Kim, Woo-Sik Im, Eun-Sun Lee and Hyun-Yong Lee
Chonnam National University

Abstract : 서로 다른 굴절률을 갖는 유전재료를 주기적으로 배열함으로써 광자금지대(PBG)를 형성시킬 수 있는 2차원(2D)광자결정배열에 선결함(line defects)을 줌으로써 기존의 평판형광도파로(PLC)와는 다른 개념의 광자결정도파로를 제작할 수 있다. 특히, 광자결정도파로는 급격한 굽힘(bending)에도 저손실의 효과를 갖도록 할 수 있기 때문에 광집적회로에 효과적으로 적용된다. 본 연구에서는 정방형 격자구조의 2차원 광자결정에 대한 광자밴드구조를 구하고 이로부터 추출된 구조매개변수를 이용하여 광자결정도파로를 설계하고 그의 특성을 평가하였다. 특히, 광자결정도파로와 PLC형도파로 특성을 비교하였다. 설계된 광자결정 도파로를 전자빔 및 홀로그래픽 리소그라피를 이용하여 제작, 평가할 것이다.

Key Words : 2차원 광자결정, 광자결정 도파로, 평판형 광도파로, 홀로그래픽 리소그라피

1. 서론

전자소자로 이용되고 있는 반도체 결정은 원자의 주기적 패턴설로 인해 전자가 가질 수 있는 허용 에너지대와 그렇지 못한 전자밴드갭(EBG)을 갖는다. 이와 마찬가지로 굴절률(유전율)의 인위적 주기구조로 정의되는 광자결정(photonic crystals)은 설계조건에 따라 특정 주파수(파장) 범위의 광자(photon)에 대해 전파를 금지하는 반사대인 광자밴드갭(photonic bandgap; PBG)을 갖는다. 또한 반도체가 메모리, 스위치등의 역할을 할 수 있도록 다양한 소자를 집적시킨 집적회로(IC)를 만들어서 사용하였듯이 미래의 광기술 역시 평판에 여러 기능을 집적시킨 광집적회로(Photonic IC)의 필요성이 대두되고 있다.

미래의 광집적회로는 광원, 검출, 필터, 증폭, 공진 및 광도파 등과 같은 기능들을 개별적인 소자로 사용하는 것이 아니라 이것들이 종합되어 집적화 시킨 SoC의 형태로 발전할 것이다. 이러한 기술연구 중 하나가, 실리카 및 Si 기반위에 박막형의 도파로를 이용하여 광통신에 사용되는 수동 및 능동소자(splitter, AWG, VOA, switch, OADM 등)를 집적화하고 있는 PLC(planar lightwave circuits) 기술이다. 현재 PLC 기술에서 응용하는 도파로 기술은 통신주파수에서 손실이 가장 작은 것으로 알려진 SiO₂를 이용한, 내부전반사를 이용하지만 굴곡에 따른 도파손실이 크기 때문에 소형화, 집적화에는 한계가 있다. 따라서, 현 단계에서 초소형, 고기능 광집적회로를 실현할 수 있는 대안기술로 평가되고 있는 것이 광자결정-기반의 도파로 플랫폼(platform)이다.

광자결정-기반 도파로가 대안기술로 평가되는 이유는 광자결정은 내부전반사형 PLC와는 달리 광자를 구속(confinement)시켜서 도파시키는 메커니즘을 따르기 때문에 잘 설계된 구조물에서는 도파로 모양과 관계없이 손실이 거의 없는 도파 특성을 얻을 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 정방형 격자구조의 2차원 광자결정을 모델로 그의 광자밴드구조를 얻고 특정 굴곡의 도파로를 설계하고 평가한다. 이 결과를 PLC형 도파로 특성과 비교 검토한

다. 광자결정도파로 소자의 제작을 위해 전자빔 및 홀로그래픽 리소그라피 방법을 사용하려는 계획이다.

2. 실험

실험은 임의의 굴곡을 갖는 PLC형 도파로와 광자결정 도파로를 설계하고 그의 특성들을 비교하였다.

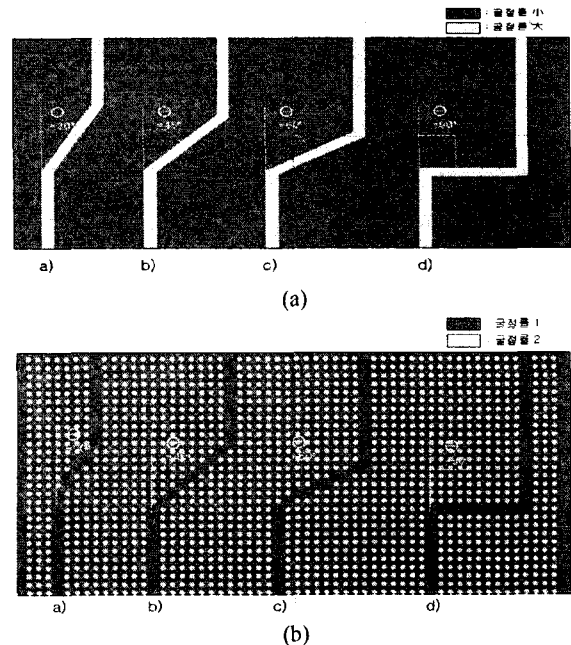


그림 1. 설계된 (a)내부전반사형 PLC 광도파로와 (b)정방형 격자의 광자결정 도파로구조의 개략도.

그림 1은 임의의 굴곡을 갖도록 설계된 광도파로 구조를 보여주고 있다. 그림 1(a)는 굴절률 차에 의한 내부전반사-모드의 PLC형 광도파로 구조로 밝은 부분의 굴절률은 3.40이고, 검은 부분의 굴절률은 1.46으로 가정하였다. 그림 1(b)는

광자구속-모드 2차원 광자결정 기반의 도파로 구조로 정방형 격자(square lattice)구조를 갖는다. 여기서, $n_1=1.46$ $n_2=3.4$ 으로 가정하고 광자결정을 구성하는 원통형 rod의 반경(r)은 $0.2\mu\text{m}$, 주기(a)는 $0.8\mu\text{m}$, 충진율 r/a 는 0.25로 가정하였다. 이 정방형격자구조에 대한 TE-모드의 광자밴드구조는 그림 2와 같이 얻어진다. 여기서 정방형 격자구조는 정사각형의 Brillouin영역을 갖으며, 도파면 상의 파동벡터는 Γ 에서 X 그리고 M으로 삼각형의 최소 Brillouin 영역의 가장자리를 따른다.

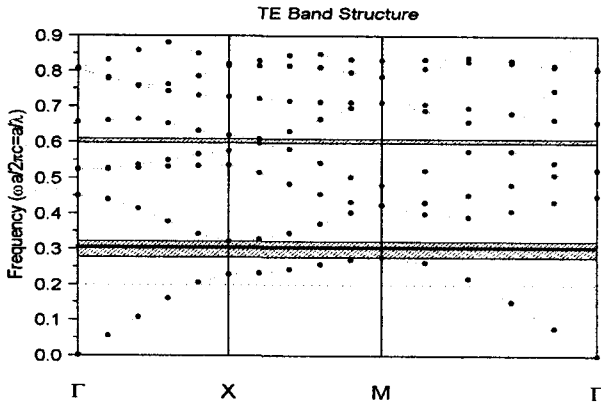


그림 2. $n_1=1.46$ $n_2=3.4$ 의 원통형 rod를 갖는 정방형 격자 광자결정에 대한 TE-모드 광자밴드구조

이 구조에 $0.8\mu\text{m}$ 의 선결함을 제작해 중으로써 광도파로를 설계하였다. 그림 2에서 빗금 부분이 광자금지대(PBG) 영역이며, 굵은 실선(규격화주파수 ~ 0.3)으로 표시된 영역이 선결함을 삽입하였을 때의 광자가 구속되어 이동되는 주파수 영역대를 나타낸다. 파장($=a/w$)으로 나타내면 약 $2.7\mu\text{m}$ 에 대응된다. 따라서 $1.5\mu\text{m}$ 의 파장을 이용하기 위해서 a 는 약 $0.45\mu\text{m}$ 로 감소되어야 한다.

본 실험은 $2.7\mu\text{m}$ 의 파장을 갖는 광원을 고려하여 특성을 평가하였다. 또한 모든 구조는 Si와 SiO₂를 고려하였다. e-beam lithography와 holographic lithography를 사용하여 패턴을 제작 중이다.

3. 결과 및 고찰

그림 3(a)는 내부전반사형 도파로에 대한 도파 특성을 나타내며 이는 그림 1에서 설계한 구조에 대해 FDTD 방법으로 계산한 결과를 도식화한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 구부림 각이 늘어날수록 굴곡의 모서리 면에서 빛의 투과 및 분산이 많이 일어남을 알 수 있다. 굴곡이 상대적으로 작은 왼쪽 두 경우는 비록 손실이 심하지만 빛의 도파를 볼 수 있는 반면 마지막 두 경우에는 도파로를 통하여 광이 거의 도파되지 않음을 볼 수 있다. 이는 도파로의 구부러짐 정도에 따른 내부전반사의 강한 의존성 때문이다.

그림 3(b)는 광자결정형 도파로 구조에서의 광도파-모드 특성을 나타낸다. 본 그림은 그림 1 및 2에서 설계된 도파로에 대한 계산결과로 그림 3(a)의 내부전반사형 도파 특성과는 달리 굴곡의 변화에 따라서 손실의 차이가 거의 없으며,

직각형 도파로에서도 빛이 도파됨을 볼 수 있다.

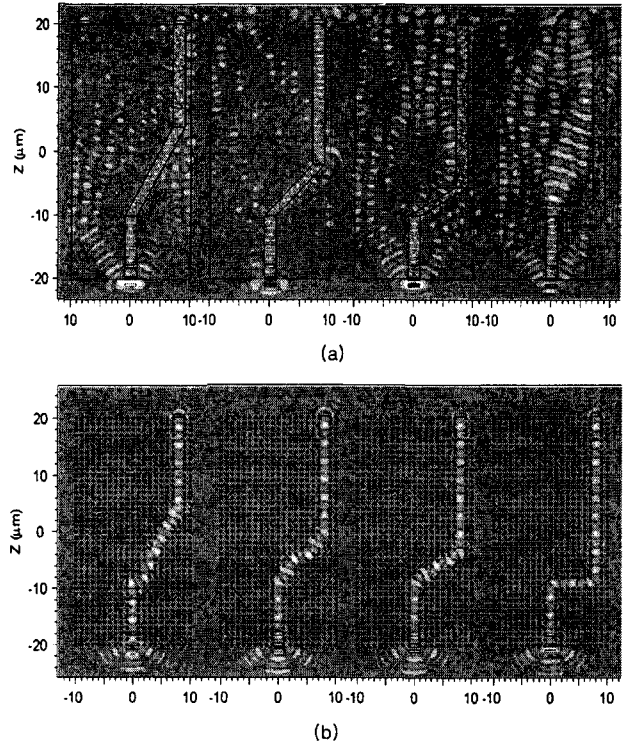


그림 3. (a) 내부전반사형 도파로의 도파 및 (b) 광자결정형 도파로의 도파-모드 특성

4. 결론

광집적소자를 위한 2차원 광자결정-기반 도파로를 설계 그 특성을 내부전반사형 광도파로와 비교 평가하였다. 광자결정형 도파로의 60° 이상의 급격한 굴곡에도 거의 손실이 없는 특성을 보였고, 또한 회절이나 투과된 빛이 인접한 광도파로에 영향을 주지 않기 때문에 소자의 집적도를 향상시킬 수 있다. 현재 제작실험이 진행 중이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지역기술혁신사업(RT104-03-03) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] Y. Fink, J.N. Winn, S. Fan, C. Chen, J. Michel, J.D. Joannopoulos, and E.L. Thomas, Science 282, 1679-1681, 1998.
- [2] Edward S. Yang, "Fundamentals of Semiconductor Devices", Peter D.Nalle, Frank Cerra, and Michael Gardner; pp. 163-178, Times Roman, USA, 1978.
- [4] E. Yablonovitch, Phys. Rev. Lett. 58, 2059, 1987.
- [5] C. Reese, C. Becher, A. Imamoglu, E. Hu, B. D. Gerardot, and P.M.Petroff, Appl. Phys. Lett. 78, 2279, 2001.